

Institut für Veterinärpathologie  
der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

Direktor: Prof. Dr. med. vet. Andreas Pospischil

**Klinische Anwendung der Infrarot-Thermografie  
bei der Diagnostik von Gelenksentzündungen beim Schwein -  
ein Vergleich pathologischer und thermografischer Befunde**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der  
Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von

**Flurin Gabriel**

Tierarzt  
von Waltensburg (GR), Schweiz

genehmigt auf Antrag von

Prof. Dr. med. vet. A. Pospischil, Referent

Prof. Dr. med. vet. Hans Geyer, Korreferent

Zürich 2008

## Inhalt

<b>1 Zusammenfassung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Einleitung .....</b>	<b>2</b>
<b>3 Tiere, Material und Methoden .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Tiere/Material .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2 Methoden.....</b>	<b>4</b>
3.2.1 Entzündungen: Ursachen und Verlauf.....	4
3.2.2 Funktionsweise der Thermografiekamera ThermoCAM™ E4 .....	5
3.2.3 Messanordnung.....	5
3.2.4 Aufbereitung der Daten.....	6
3.2.5 Visuelle Beurteilung der Thermografieaufnahmen: Hot Spots .....	6
3.2.6 Berechnung der relativen Temperaturwerte: Temperaturdifferenz .....	7
3.2.6.1 Körperoberflächentemperatur .....	8
3.2.6.2 Temperaturdifferenz zur Identifizierung von Entzündungen .....	9
3.2.7 Pathologisch-anatomische und bakteriologische Untersuchungen.....	10
<b>4 Resultate .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1 Pathologisch-anatomische Befunde .....</b>	<b>12</b>
<b>4.2 Vergleich der pathologisch-anatomischen Befunde mit den Hot Spots.....</b>	<b>12</b>
4.2.1 Patientengruppe aus den Mastbetrieben .....	13
4.2.2 Patientengruppe aus der Abteilung für Schweinemedizin.....	14
<b>4.3 Vergleich der pathologisch-anatomischen Befunde mit der         Temperaturdifferenz.....</b>	<b>15</b>
<b>4.4 Zusammenfassung der pathologisch-anatomischen und         thermografischen Befunde.....</b>	<b>16</b>
<b>5 Fallbeispiele und Kommentare .....</b>	<b>19</b>
<b>5.1 Fall 1: Hochgradige, akute Entzündung des linken Ellbogens.....</b>	<b>19</b>
<b>5.2 Fall 2: Mittelgradige, chronisch-aktive, eitrige Karpitis .....</b>	<b>21</b>
<b>5.3 Fall 3: Hochgradige, chronisch-aktive Entzündung des linken         Ellbogengelenks.....</b>	<b>23</b>
<b>5.4 Fall 4: Mittelgradige, chronische Gonitis .....</b>	<b>25</b>
<b>5.5 Fall 5: Oberschenkelfraktur .....</b>	<b>28</b>
<b>6 Diskussion.....</b>	<b>32</b>

---

7	Literatur.....	35
8	Danksagung .....	36
9	Lebenslauf .....	37

## 1 Zusammenfassung

Bei Zootieren und in der Pferdemedizin wurde die Infrarot-Thermografie als nicht-invasives, bildgebendes Verfahren bereits erfolgreich eingesetzt, um Lahmheit zu diagnostizieren. Mit der vorliegenden Dissertation wird nun geprüft, ob die Thermografie auch in der Schweine-medicin ein geeignetes Verfahren darstellt, Läsionen der Gelenke klinisch zu erfassen. Bis an-hin war eine Interpretation der thermografisch gemessenen Körperoberflächentemperaturen von entzündeten Gelenken bei Schweinen unklar, da Angaben zu den normalen Oberflächen-temperaturen von gesunden Schweinen fehlten. Deshalb wurden zum einen 9 gesunde Schweine thermografiert, um die normalen Körperoberflächentemperaturen zu erfassen und den Einfluss des Faktors Umgebungstemperatur auf diese Messwerte zu analysieren. Zum an-deren wurden die Körperoberflächentemperaturen von 27 Schweinen mit Lahmheitssympto-men oder bereits klinisch gesicherten Diagnosen analysiert, um die Thermografie zu validie-ren. Die pathologisch-anatomischen Ergebnisse wurden mit den Thermografiebefunden (Hot Spots und Temperaturdifferenz zwischen Referenz- und Zielbereich) verglichen. Die Ergeb-nisse der vorliegenden Arbeit lassen den Schluss zu, dass die Thermografie keine verlässliche Methode zur Erkennung von Gelenk-läsionen darstellt. Insbesondere ist es nicht möglich, bei Schweinen mittels Thermografie zwischen einer Arthritis, die eventuell antibiotisch behandelt werden kann und einer Osteochondrose, die nicht mehr behandelt wird, zu unterscheiden.

## Abstract

Thermography has been used successfully as a non-invasive imaging procedure for diagnosing the cause of lameness in zoo animals and horses. This dissertation set out to test whether ther-mography represents a suitable procedure for the clinical detection of lesions in the joints of pigs. To date, an interpretation of the thermographically measured body surface temperatures over inflamed joints was unclear because there were no specifications as to the normal surface temperatures in healthy pigs. Therefore, 9 healthy pigs were subjected to thermography in or-der to determine these normal body surface temperatures and to analyse the effect of the ambi-ent temperature on the values. The body surface temperatures of 27 pigs with symptoms of lameness or with already clinically confirmed diagnoses were then analysed in order to vali-date the thermographic results. The pathological-anatomical findings were then compared with the hot spots and the temperature differences between reference and target area. The re-sults of this study allow the conclusion that thermography is not a reliable method for the de-tection of joint lesions in the pig. Furthermore, thermography in older pigs does not allow for the differentiation between arthritis, which could be treated with antibiotics, and osteochon-drosis, which is not treated.

## 2 Einleitung

Bei an Lahmheit leidenden Schweinen sind ausführliche klinische Untersuchungen der Gliedmassen, insbesondere Abklärungen mittels Gelenkspunktion oder Röntgenaufnahmen, ohne Narkose nicht möglich. Solche vertieften Untersuchungen sind in der Praxis kaum realisierbar, da die Infrastruktur oft fehlt und Personal- und Materialaufwand zu hohe Kosten verursachen. Bezüglich der Prognose und der Therapierbarkeit von Gelenksaffektionen wäre es aber von grossem Vorteil, wenn sich mittels einer nicht-invasiven, stressfreien Methode abklären liesse, welche Gelenke betroffen sind und ob den entzündlichen Prozessen primär infektiöse oder degenerative Ursachen wie z. B. Osteochondrose dissecans (OCD) zu Grunde liegen.

Eine ähnliche Problematik ist bei Zootieren vorhanden. Deshalb führte Hilsberg (2000) Untersuchungen bei Wildtieren des Zoos Leipzig mittels Thermografie durch und konnte mit dieser Methode Arthritiden und Trächtigkeiten nachweisen. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass die Thermografie als nicht-invasives, bildgebendes Verfahren bei schwer zu untersuchenden Tieren stressfreie Abklärungen ermöglicht.

Wieland (1992) und Weil (1998) kamen zum Schluss, dass bei Pferden die Oberflächentemperatur der Extremitäten bei Lahmheit mittels Thermografie quantitativ sehr gut erfassbar und somit Läsionen des Bewegungsapparates bereits zu einem frühen Zeitpunkt erkennbar sind. Turner (2001) zeigte, dass die Thermografie bei der Diagnose von Bänder- und Sehnenerkrankungen beim Pferd hilfreich sein kann. Schulze (2003) wies nach, dass durch Hufabszesse verursachte erwärmte Areale thermografisch messbar sind und als „Hot Spot“ sichtbar gemacht werden können. Die Bezeichnung Hot Spot wird bei Thermografie-Untersuchungen für diejenigen Bereiche verwendet, an denen auffällige, kritische Erwärmungen (Infrarotstrahlung) eines kontrollierten Objektes festgestellt werden können.

Beim Schwein hingegen wurde die Infrarotthermografie bis anhin kaum erprobt. Huynh et al. (2005) und Röhlinger et al. (1980) beschrieben die Infrarottechnik zur Messung von Oberflächentemperaturen beim Schwein. Sabec und Lazar (1990) prüften, ob bei wachsenden Schweinen mit beginnender Osteoarthrose Temperaturunterschiede am Sprunggelenk nachzuweisen sind. Die festgestellten Unterschiede deuteten wohl auf Anomalien hin, aber die Wertung der Ergebnisse blieb unklar, da Angaben über normale Oberflächentemperaturen bei Mastschweinen fehlten.

Aus diesem Grund untersuchte das Zentrum für tiergerechte Haltung: Wiederkäuer und Schweine der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART zusammen mit dem Institut für Veterinärpathologie der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich im Rahmen eines Projektes des Bundesamtes für Veterinärwesen (BVET) die Anwendbarkeit der Thermografie in der Lahmheitsdiagnostik bei Schweinen. Die ART thermografierte die Tiere, bereitete die Messdaten auf und wertete diese statistisch aus (Savary et al., 2008). Das Institut für Veterinärpathologie des Tierspitals in Zürich untersuchte die Schweine klinisch, makroskopisch, histologisch und bakteriologisch.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Möglichkeiten und Grenzen der Thermografie bei der Erfassung von Gelenkläsionen in der Schweinemedizin zu untersuchen. Insbesondere stand die Beantwortung folgender Fragen im Vordergrund:

1. Wie hoch ist die Übereinstimmung der Ergebnisse der thermografischen Untersuchungen mit den pathologisch-anatomischen Befunden?
2. Inwieweit ist in einem Schweinestall aufgrund von beobachteter Lahmheit eine zuverlässige Erkennung von Gelenksläsionen mittels thermografischer Aufnahmen möglich?
3. Liefert die Thermografie Informationen, die mit anderen Untersuchungsmethoden nicht gewonnen werden können, wobei insbesondere interessiert, ob a) mittels Thermografie Aussagen bezüglich Stadium und Grad einer Entzündung und deren Ursache (infektiös, degenerativ) möglich sind und b) ob die Informationen, die mit den thermografischen Aufnahmen gewonnen werden, eine zusätzliche Hilfe bieten bei der Frage, ob eine Therapie indiziert ist?
4. Welches sind die Vor- und Nachteile der Thermografie bei der Diagnose von Erkrankungen der Gliedmassen im Vergleich zu etablierten diagnostischen Verfahren?

Im Folgenden wird in Kapitel 3 zuerst ausgeführt, wie sich die Kontrollgruppe zur Erfassung der normalen Oberflächentemperaturen sowie die Patientengruppe zur Validierung der Thermografie als Methode zur klinischen Abklärung von Lahmheit bei Schweinen zusammensetzen. In einem kurzen Exkurs über Ursachen und Verlauf von Entzündungen werden die in diesem Zusammenhang möglichen Erwärmungsprozesse erläutert. Anschliessend wird die Funktionsweise der Thermografiekamera erklärt und dann die Messanordnung für die Untersuchungen beschrieben. Weiter wird erklärt, wie die thermografischen Befunde einerseits visuell aufgrund von Hot Spots sowie andererseits mit der Methode der Temperaturdifferenz zwischen Referenz- und Zielbereich interpretiert werden können. Dabei werden wir erläutern, welchen Einfluss die Umgebungstemperatur auf die Messungen zeigt. Am Schluss von Kapitel 3 wird ausgeführt, welche Untersuchungen in der Sektion für die pathologisch-anatomische Befunderhebung und Diagnosestellung vorgenommen wurden.

In Kapitel 4 werden die pathologisch-anatomischen mit den thermografischen Befunden verglichen. Dabei werden zuerst die pathologisch-anatomischen Befunde kurz erläutert, um diese dann mit den auf den Thermografieaufnahmen sichtbaren Hot Spots sowie den Temperaturdifferenzen zwischen Referenz- und Zielbereich zu vergleichen.

Anschliessend werden in Kapitel 5 fünf Fallbeispiele vorgestellt, um anhand von diesen den Vergleich der pathologisch-anatomischen Befunde mit den Thermografiebefunden zu erläutern und zu kommentieren.

Schliesslich werden in Kapitel 6 die Ergebnisse diskutiert und Antworten auf die uns interessierenden Fragen formuliert. Zum Schluss folgt eine Bewertung der Thermografie als Methode zur klinischen Abklärung von Lahmheit bei Schweinen.

### 3 Tiere, Material und Methoden

#### 3.1 Tiere/Material

Die *Kontrollgruppe* bestand aus 9 Schweinen, die mit einer Infrarotthermografiekamera thermografiert wurden. Die Tiere mit einem Gewicht von ca. 50-70 Kg wurden an der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon gehalten und auch dort thermografiert. Die Gliedmassen der Tiere aus der Kontrollgruppe wurden nach der Schlachtung und Verwertung der Schlachtkörper am Institut für Veterinärpathologie untersucht.

Die Validierung der Thermografie als Methode zur Erfassung von Entzündungen erfolgte an einer *Patientengruppe* von insgesamt 27 Schweinen. Davon kamen 16 Tiere aus insgesamt 4 Mastbetrieben mit Gliedmassenproblemen. Diese Tiere wurden aufgrund von zwei Kriterien ausgewählt: Erstens zeigten die Tiere im Stall Lahmheitssymptome und zweitens waren in den entsprechenden Thermografieaufnahmen Hot Spots sichtbar- also Areale mit einer erhöhten Temperatur, die auf mögliche Entzündungen hinwiesen. Die restlichen 11 Schweine der Patientengruppe wurden von der Abteilung für Schweinemedizin des Tierspitals der Universität Zürich zur Verfügung gestellt. Diese Tiere waren alle wegen erkrankter Gliedmassen eingeliefert und dort klinisch untersucht worden. Wenn indiziert, wurden die Tiere röntgenologisch abgeklärt.

Sämtliche Tiere der Patientengruppe wurden thermografiert und dann einer Sektion unterzogen.

#### 3.2 Methoden

##### 3.2.1 Entzündungen: Ursachen und Verlauf

###### **Akute Entzündungen:**

Wie aus der allgemeinen Pathologie bekannt ist, werden akute Entzündungen durch Infektionen, Traumata, physikalische und chemische Stimuli getriggert und haben zwei Hauptkomponenten, nämlich a) einen Austritt von Proteinen und Leukozyten, insbesondere neutrophile Granulozyten, ins lädierte Gewebe und b) eine Steigerung des Blutflusses. Die akute Entzündung wird gesteuert durch Histamin, Bradykinin, Leukotriene und einer ganzen Reihe anderer Mediatoren. Der Austritt von Protein ins Interstitium führt zu einem Ödem und manifestiert sich als Schwellung. Die Vasodilatation, gesteuert durch Histamin und NO, führt zu einem gesteigerten Blutfluss und zu einer lokalen *Erhöhung* der Temperatur.

###### **Chronisch-aktive Entzündungen:**

Der Austritt von Leukozyten ins Interstitium erfolgt chemotaktisch und dient der Eliminierung von körperfremdem Material, bzw. der Wiederherstellung des Gewebes. Gelingt diese Wiederherstellung nicht und sammeln sich degenerierte Neutrophile an, entsteht ein Abszess. Solange die Vasodilatation in der Abszesskapsel bestehen bleibt und weiter Neutrophile einwandern, ist die Entzündung chronisch-aktiv und weist weiterhin gegenüber der Umgebung eine *erhöhte* Temperatur auf.

### Chronische Entzündungen:

Mit voranschreitender Fibrosierung nimmt die Perfusion und damit die Wärmebildung ab, die Läsion wird chronisch. Klinisch manifestiert sich dieses Stadium als Bindegewebszubildung und *functio laesa*. Die Perfusion ist reduziert und die Erwärmung des lädierten Gewebes gegenüber der Umgebung ist *nicht* mehr vorhanden.

Den Erkenntnissen der Entzündungslehre folgend ist deshalb zu erwarten, dass *akute* und *chronisch-aktive* Entzündungen aufgrund der entzündungsbedingten Erwärmung im thermografischen Bild als Hot Spot *sichtbar* sind, *chronische* Entzündungen jedoch *nicht sichtbar* sind.

### 3.2.2 Funktionsweise der Thermografiekamera ThermoCAM™ E4

Die Thermografiekamera des Typs ThermoCAM™ E4, FLIR Systems, Wilsonville OR, USA misst lasergestützt die Temperatur von 19'000 Bildelementen je Bild und ermöglicht so, die von einem Objekt ausgestrahlte und reflektierte Wärme zu messen. Diese Temperaturwerte werden im integrierten LCD-Monitor der Kamera optisch dargestellt. Dabei wird jedem Messpunkt eine für den gemessenen Temperaturwert definierte Farbe zugeordnet. Entzündete Strukturen erscheinen in den thermografischen Aufnahmen als weisse *Hot Spots*. Die Thermografiekamera misst die *absoluten* Oberflächentemperaturen eines Objektes. Die Messergebnisse können nachträglich am Computer mit der Auswertungssoftware ThermoCAM Reporter™ 7 Basic des Kameraherstellers bearbeitet werden.

Die technischen Kennwerte der Infrarot-Thermografiekamera ThermoCAM™ E4 der Kamera lauten wie folgt ( Tab. 1):

Thermische Empfindlichkeit	0.12° C
Spektralbereich	7.5 - 13 µm
Temperaturmessbereich	20° C bis 250° C
Messgenauigkeit	2 % der absoluten Temperatur
Laser-Locator™	Dioden-Laser, 1mW, 635 nm ( rot)
Angezeigte Messwerte	max. und min. gemessene Temperatur; Temperaturbereich
Bilddarstellung	2.5" mittels LCD-Monitor

Tab. 1 Technische Daten der Infrarot-Thermografiekamera ThermoCAM™ E4

### 3.2.3 Messanordnung

Vor dem Thermografieren wurden die sauberen und trockenen Tiere der Kontrollgruppe zur Temperaturanpassung möglichst lange an das Stallklima gewöhnt. Die Tiere wurden für die Messungen aus der Bucht genommen, schnellstmöglichst und immer aus der gleichen Perspektive, frei von Zugluft und direkter Sonneneinstrahlung, einzeln und freilaufend im Stallgang, thermografiert. Von jedem Tier wurde die rechte und die linke Körperseite als Thermogramm festgehalten (eingestellter Emissionsfaktor 0,98, Abstand von Kamera zu Tier ca. 3 m). Der Einfluss der Tageszeit auf die gemessenen Temperaturwerte der thermografischen Aufnahmen wurde analysiert, indem an drei aufeinander folgenden Tagen jeweils um 09:00 Uhr und 14:00 Uhr thermografiert wurde. Die Luftfeuchtigkeit wurde während der Thermoaufnahmen mit Hilfe eines Datenloggers erfasst und lag zwischen 58 % und 77 %. Die Umgebungstemperatur während den Aufnahmen lag zwischen 10.7° C und 18° C.



Die Tiere der Patientengruppe wurden auf die gleiche Weise (jedoch nur zu einem Zeitpunkt) entweder im Stallgang der Betriebe oder im Stall der Abteilung für Schweinemedizin thermografiert.

### 3.2.4 Aufbereitung der Daten

Mit Hilfe der Auswertungssoftware wurde pro Thermogramm eine Auswahl rechteckiger Bildausschnitte von vier entzündungsfreien Referenzbereichen (Ohrgrund, Unterbauch caudal, Medialseite der Vorder- und Hintergliedmassen) und von fünf Zielbereichen (Carpus, Tarsus, Knie, Ellbogen, Schulter), bei denen eine Gelenkentzündung auftreten kann sowie ein Bildausschnitt des Bodens im Stallgang<sup>1</sup> (Savary et al., 2008) analysiert. Für die quantitative Analyse der Bildausschnitte wurde der höchste Temperaturwert pro Bildausschnitt bestimmt (vgl. Abb. 1)

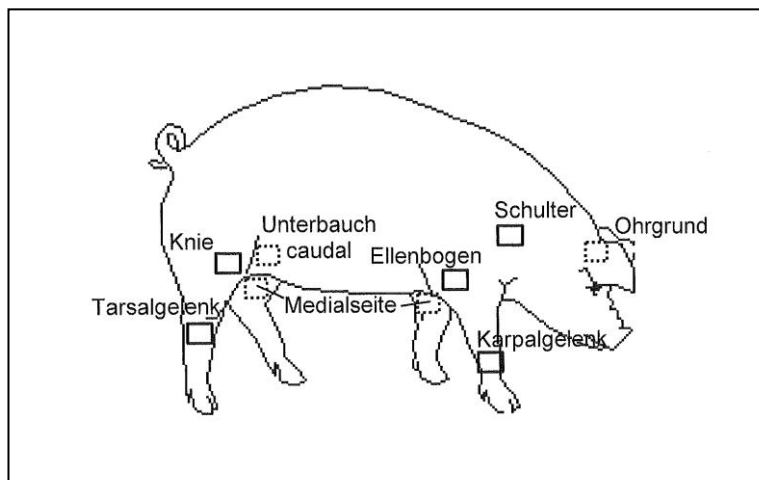


Abb. 1 Bildausschnitte pro Thermogramm (Quelle: Savary et al., 2008)

### 3.2.5 Visuelle Beurteilung der Thermografieaufnahmen: Hot Spots

Im thermografischen Übersichtsbild (Abb. 2) wird die Wärmeverteilung an der Körperoberfläche eines Schweines sichtbar. So erscheint das Abdomen aufgrund der Fermentationsprozesse im Darm wärmer als der lufthaltige Thorax. Weiter sind das Herz und die intensiv durchbluteten Ohren als wärmere Areale gut erkennbar. Die Aufhellungen im Ellbogen- und Kniebereich sind als Areale mit erhöhter Temperatur infolge der tieflaufenden und insbesondere auch der oberflächlich verlaufenden Venen anzusehen. Hinzu kommt, dass die Ellbogen- wie auch die Kniegelenke von wenig isolierendem Fettgewebe umgeben sind. Weiter spielt die Wärmebildung durch die Muskulatur bei Aktivität der Tiere eine nicht zu unterschätzende Rolle. Im Bereich des rechten Karpalgelenks ist eine deutliche Schwellung mit zentraler Erwärmung als sogenannter Hot zentraler Erwärmung als sogenannter Hot Spot (umkreist) zu sehen.

<sup>1</sup> Die Bodentemperatur des Stallganges variierte während einer Messperiode kaum und wurde daher als Mass der Umgebungstemperatur und zur Prüfung der Plausibilität der gemessenen Körperoberflächentemperaturen eingesetzt. Wichen einzelne Bodenwerte um mehr als 1° C vom Median ab, der aus den Minimalwerten aller Bodenwerte einer Messperiode berechnet wurde, wurden alle Werte der auf der Körperoberfläche des Tieres analysierten Referenz- und Zielbereiche des betreffenden Bildes um den Differenzwert zwischen dem Median und dem Bodenwert korrigiert (Savary et al., 2008).

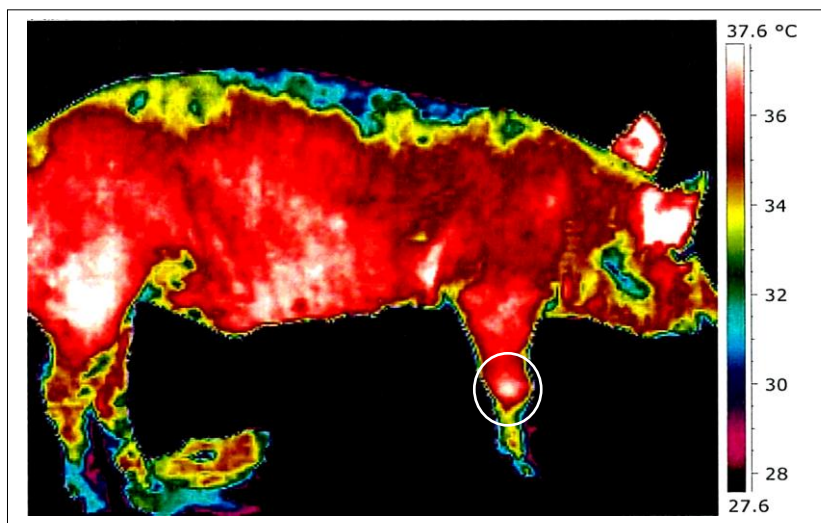


Abb. 2 Übersichtsaufnahme (Schwellung am rechten Karpalgelenk sichtbar als Hot Spot). Auf der Temperaturskala rechts vom Thermografiebild sind den jeweiligen Temperaturen definierte Farben zugeordnet.

### 3.2.6 Berechnung der relativen Temperaturwerte: Temperaturdifferenz

Die statistischen Auswertungen der Daten erfolgte mit linearen gemischte Effekte Modellen in R 2.5.1.<sup>2</sup> Sowohl der Einfluss der Umgebungstemperatur als auch die Unterschiede in den Körperoberflächentemperaturen der einzelnen Gelenke (Zielbereiche) erwiesen sich als statistisch signifikant (Savary et al., 2008).<sup>3</sup>

Erhöhte Körperoberflächentemperaturen bzw. Hot Spots müssen deshalb nicht zwingend entzündete Areale darstellen, sondern können auch auf Grund externer Einflussfaktoren wie insbesondere die Umgebungstemperatur entstanden sein. Für die Identifizierung von Gelenkentzündungen müssen daher Methoden angewendet werden, die zumindest den Haupteinfluss der Umgebungstemperatur ausschliessen oder berücksichtigen. Grundsätzlich standen zwei Methoden zur Verfügung, die beide in der Untersuchung zur Anwendung kamen (Savary et al., 2008).

Einerseits kann mit der Berechnung der Temperaturdifferenz zwischen anatomisch symmetrischen Zielbereichen ( $\Delta T_{zz}$ ; Methode 1) eine Unabhängigkeit von der Umgebungstemperatur erreicht werden. Beim Pferd beispielsweise wird die Temperatur zwischen anatomisch symmetrischen Arealen wie dem vorderen linken und rechten Huf verglichen (Weil et al., 1998). Ist die Differenz zwischen den anatomisch symmetrischen Arealen grösser als  $1^\circ\text{C}$  besteht der Verdacht auf eine Entzündung. Voraussetzung für die Anwendung von Methode 1 ist jedoch, dass sich die normalen Körperoberflächentemperaturen der links- und rechtsseitigen Gelenke nicht um mehr als  $1^\circ\text{C}$  unterscheiden. Laut Savary et al. (2008) ist diese Methode bei Schwei-

<sup>2</sup> Als zu erklärende Variablen dienten in je einem Modell die Körperoberflächentemperaturen der Referenz- und Zielbereiche sowie die Temperaturdifferenz zwischen Referenz- und Zielbereich. Als unabhängige Variablen dienten die Umgebungstemperatur, der Gelenktyp sowie die Interaktion zwischen Umgebungstemperatur und Gelenktyp (Savary et al., 2008).

<sup>3</sup> Weitere Einflüsse wie beispielsweise die Luftfeuchtigkeit, der Kamera-Tier-Abstand, das Alter und das Gewicht der Tiere müssen in weiteren systematischen Untersuchungen abgeklärt werden (Savary et al., 2008).

nen jedoch nicht anwendbar, da bei rund 33 % der Messungen an den neun gesunden Tieren die Temperaturdifferenz  $\Delta T_{zz}$  zwischen anatomisch symmetrischen Arealen grösser war als  $1^\circ\text{C}$ .<sup>4</sup> In diesen Fällen wäre fälschlicherweise eine Entzündung diagnostiziert worden.

Andererseits können Entzündungen durch die Berechnung der Temperaturdifferenz zwischen Referenz- und Zielbereich ( $\Delta T_{RZ}$ ; Methode 2) identifiziert werden. Als Referenzbereiche galten Ohrgrund, Unterbauch caudal und Medialseite der Vorder- und Hintergliedmassen. Der Ohrgrund und der Unterbauch wurden als Referenzbereiche ausgewählt, weil deren Oberflächentemperatur wenig Streuung zeigt. Da jedoch diese beiden Bereiche im Thermogramm nicht immer gut sichtbar und damit messbar waren, wurden zusätzlich die Medialseite der Vorder- und Hintergliedmassen als Referenzbereiche berücksichtigt (Savary et al., 2008). Es zeigte sich, dass die Temperaturen der Referenzbereiche wegen der intensiven Durchblutung beziehungsweise der Nähe zu grossen Gefässen geringeren Schwankungen unterlagen als die übrige Körperoberfläche. Zielbereiche waren die zu untersuchenden Gelenke (Carpus, Ellbogen, Schulter, Tarsus, Knie). Diese Bereiche weisen in gesundem Zustand niedrigere Oberflächentemperaturwerte als die Referenzbereiche auf, da sie weniger stark durchblutet sind.

Da die Körperoberflächentemperatur der verschiedenen Gelenke (Zielbereiche) statistisch gesicherte Unterschiede zeigte, galt es, spezifisch für die verschiedenen Gelenke und für variierende Umgebungstemperaturen die Normalwerte solcher Differenzen zu schätzen (Savary et al., 2008).

### 3.2.6.1 Körperoberflächentemperatur

Die normalen Oberflächentemperaturen für die Referenzbereiche,  $T_R$ , die signifikant von der Umgebungstemperatur beeinflusst werden, lassen sich im untersuchten Bereich der Umgebungstemperatur,  $T_U$ , als

$$T_R = 30.56 + 0.36 \cdot T_U$$

schätzen (Savary et al., 2008). Als Richtwert für die Beurteilung der Höchstwerte der Zielbereiche wurde der Maximalwert aus allen vier Referenzbereichen verwendet.

---

<sup>4</sup> Eine grosse  $\Delta T_{zz}$  kann laut Savary et al. (2008) verschiedene Ursachen haben. So kann es möglich sein, dass bei liegenden Tieren der Kontakt der Epidermis mit dem Boden zu einer erhöhten Hautdurchblutung und damit zu einer erhöhten Oberflächentemperatur führt. Sofern die Messung der Körperoberflächentemperatur unmittelbar nach dem Aufstehen erfolgt, könnte dies dazu führen, dass die Haut auf derjenigen Seite, auf der das Schwein lag, deutlich wärmer ist. Im vorliegenden Versuch wurden die Mastschweine für die Messung direkt aus der Bucht herausgenommen und schnellstmöglichst thermografiert, um die Stressbelastung so gering wie möglich zu halten (Savary et al., 2008).

Die normale Oberflächentemperatur der Zielbereiche,  $T_z$ , die sowohl von der Umgebungstemperatur als auch von der Art des Gelenkes signifikant beeinflusst wird, lässt sich als

$$\left. \begin{array}{l} 25.22 \text{ Carpus} \\ 26.24 \text{ Tarsus} \\ 26.39 \text{ Schulter} \\ 26.74 \text{ Knie} \\ 27.07 \text{ Ellbogen} \end{array} \right\} + 0.48 \cdot T_u$$

schätzen. Von den Zielbereichen wiesen also die Ellbogengelenke die höchsten Körperoberflächentemperaturen und die Karpalgelenke jeweils die tiefsten auf.

Wie die Auswertungen zeigten, lagen die Temperaturen der Referenzbereiche jeweils um 1° C bis 4° C höher als die Temperaturen der Zielbereiche. Mit zunehmender Umgebungstemperatur stiegen die Werte der Zielbereiche mit 0.48° C pro Grad Umgebungstemperatur schneller an als die Werte der Referenzbereiche mit 0.36° C pro Grad Umgebungstemperatur (Savary et al., 2008).<sup>5</sup>

### 3.2.6.2 Temperaturdifferenz zur Identifizierung von Entzündungen

Die Temperaturdifferenz zwischen Referenz- und Zielbereich (vgl. Abb. 3) wird signifikant von der Umgebungstemperatur als auch von der Art des Gelenkes beeinflusst. Die *kritische Grenze* zur Diagnose von Entzündungen,  $T_{krit}$ , lässt sich als

$$\left. \begin{array}{l} 4.31 \text{ Carpus} \\ 3.30 \text{ Tarsus} \\ 3.14 \text{ Schulter} \\ 2.79 \text{ Knie} \\ 2.46 \text{ Ellbogen} \end{array} \right\} - 0.11 \cdot T_u$$

schätzen (Savary et al., 2008). Bei den Messungen der 9 gesunden Tiere lagen nur 2 bis 12 % der Messungen an der rechten Körperseite<sup>6</sup> unter diesen kritischen Grenzen (Schätzstichprobe). Für die Messungen der linken Körperseite waren diese Anteile mit 8 bis 25 % höher (Validierungsstichprobe). Dieser Anteil falsch positiver Messungen war für zwei der fünf Gelenke der Validierungsstichprobe leicht höher (Knie, Ellbogen) und bei der Schulter deutlich erhöht.<sup>7</sup>

Die dargestellten kritischen Grenzen dienen als Grundlage, um entzündete Gelenke zu identifizieren: Liegt in einem Gelenk eine akute oder chronisch-aktive Entzündung vor, ist davon auszugehen, dass die Temperatur im Zielbereich steigt, was eine *kleinere* Temperaturdifferenz

<sup>5</sup> Es wird angenommen, dass dieser Zusammenhang bei Umgebungstemperaturen, die höher sind, als die in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigten (Temperaturen > 26° C) zunehmend schwächer wird, da sonst die Hauttemperaturen schon bald in den fiebrigen Bereich kommen würden (Savary et al., 2008).

<sup>6</sup> Für die statistischen Auswertungen wurden jeweils nur die Daten der rechten Körperhälfte einbezogen (Schätzstichprobe). Die Daten der linken Körperseite wurden als Validierungsstichprobe verwandt (Savary et al., 2008).

<sup>7</sup> Laut Savary et al. (2008) können diese Falschklassifikationen dadurch verbessert werden, dass mehr Tiere und ein breiterer Temperaturbereich gemessen werden, was zu einer exakteren Schätzung des Verlaufes der Temperaturdifferenz in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur führen würde. Unter diesen Umständen wäre wohl eine generelle Genauigkeit im Bereich von deutlich weniger als 10 % falsch positiver Beurteilungen erreichbar.

zum Referenzbereich zur Folge hat. Es wird erwartet, dass die Temperaturdifferenz zwischen Referenz- und Zielbereich bei einer akuten oder chronisch-aktiven Entzündung *unter* der kritischen Grenze liegt.

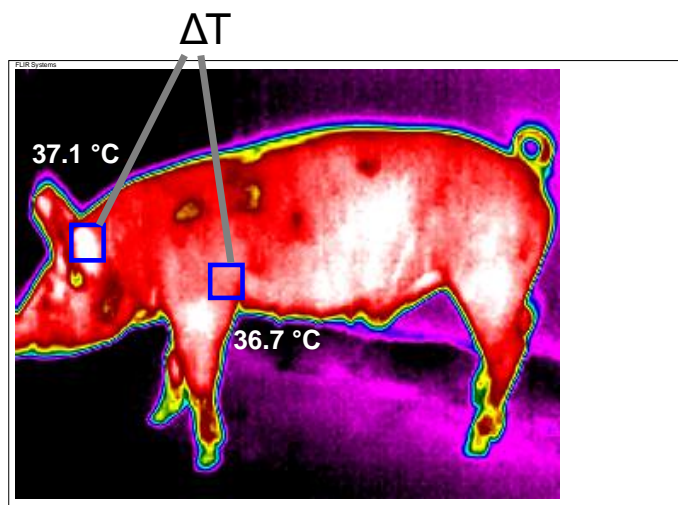


Abb. 3 Temperaturdifferenz zwischen Referenz- und Zielbereich (Quelle: Savary et al., 2008)

### 3.2.7 Pathologisch-anatomische und bakteriologische Untersuchungen

Die Gliedmassen der Kontrollgruppe und der Patientengruppe wurden im Institut für Veterinärpathologie der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich einer Sektion zugeführt und pathologisch-anatomisch untersucht. Im Rahmen dieser Abklärungen wurden die Gelenkkapsel inklusive Synovialis, der Bandapparat und der Gelenkknorpel hinsichtlich makroskopischer Veränderungen untersucht. Bei Verdacht auf eine Gelenksinfektion, bei einer Osteochondrose dissecans (OCD) oder bei positivem Thermografiebild (Hot Spots) wurden von makroskopisch veränderten Geweben histologische Präparate von formalinfixierten Gewebeproben der Gelenke hergestellt. Wenn indiziert, wurden Längs- und Querschnitte der am Gelenk beteiligten Knochen gesägt und Gelenkknorpel, subchondrale Knochenplatte, Spongiosa und Kompakta auf makroskopische und histologische Veränderungen hin untersucht.

Bei quantitativen bzw. qualitativen Auffälligkeiten der Gelenksflüssigkeit, bei pathologisch veränderten Gelenken oder positivem Thermografiebild wurden Proben der Synovia zur bakteriologischen Abklärung einer Gelenksinfektion mit *Erysipelothrix rhusiopathiae*, *Staphylococcus hyicus*, *Streptococcus suis*, *Mycoplasma hyorhinis* oder *Arcanobacterium pyogenes* genommen. Die Proben wurden auf Agarplatten kultiviert, die Bakterienart bestimmt und der Bakteriengehalt der Synovia quantifiziert.

Eine Ausnahme bildeten die osteochondrotisch veränderten Gelenke, bei denen auf eine bakteriologische Untersuchung der Gelenksflüssigkeit verzichtet wurde. Osteochondrotisch veränderte Gelenke gehen auf entwicklungsbedingte Störungen der enchondralen Ossifikation zurück, die zu einer Verdickung des Gelenkknorpels führen und Läsionen der Subchondralen Knochenplatte zur Folge haben. Die mechanische Schädigung des Gelenks führt ebenfalls zu einer Entzündung.

In einigen Gelenken konnten weder Bakterien noch osteochondrotische Veränderungen nachgewiesen werden. Diese Fälle wurden aufgrund der makroskopischen und histologischen Befunde der Gruppe „Arthritis“ zugerechnet.

Aufgrund der makroskopischen, histologischen und bakteriologischen Befunde wurde eine pathologisch-anatomische Diagnose gestellt, die mit den thermografischen Befunden (Hot Spots und Temperaturdifferenz zwischen Referenz- und Zielbereich) verglichen werden konnte.

## 4 Resultate

### 4.1 Pathologisch-anatomische Befunde

Die Gelenksläsionen der Schweine aus der Patientengruppe konnten bei den pathologisch-anatomischen Untersuchungen in vier Kategorien eingeteilt werden:

- 1) akut entzündliche Prozesse, die mit einer hochgradigen Infiltration von neutrophilen Granulozyten und Rundzellen, Aktivierung der Synovialis und beginnender Einsprossung von Kapillaren ins Entzündungsgebiet einhergingen,
- 2) chronisch-aktive Entzündungen, die neben der leicht- bis mittelgradigen Neutrophilen-, Plasmazellen- und Makrophagen-Infiltration mit einer hochgradigen Zottenhypertrophie und Zottenveränderungen einhergingen,
- 3) chronische Entzündungen, die mit Infiltration von Plasmazellen und Makrophagen, hochgradigen Zottenveränderungen, Zottenhypertrophie, diffuser Aktivierung des Synovialisepithels und Bildung von Lymphfollikeln, Proliferation von Gefässen und Bindegewebezubildungen einhergingen, sowie
- 4) ohne besonderen Befund.

Im Folgenden werden die pathologisch-anatomischen Befunde mit den in den Thermografieaufnahmen sichtbaren Hot Spots (Kap. 4.2) sowie mit der Temperaturdifferenz zwischen Referenz- und Zielbereich (Kap. 4.3) verglichen.

### 4.2 Vergleich der pathologisch-anatomischen Befunde mit den Hot Spots

Wie in Kapitel 3.2.1 "Entzündungen: Ursachen und Verlauf" erläutert, bilden akute und chronisch-aktive Entzündungen gemäss Entzündungslehre vermehrt Wärme, demgegenüber sind chronische Entzündungen „kalt“. Die pathologisch-anatomischen Befunde und die Hot Spots sollten demzufolge folgendermassen korrelieren:

Path.-anatom. Befunde	Hot Spots sichtbar	Interpretation
akute Entzündung	+	richtig +
chron.-aktive Entzündung	+	richtig +
chronische Entzündung	-	richtig -
ohne besonderen Befund	-	richtig -

#### 4.2.1 Patientengruppe aus den Mastbetrieben

Vergleicht man nun die Thermografieaufnahmen der 16 Tiere der *Patientengruppe aus den Mastbetrieben* mit den im Tierspital erhaltenen pathologisch-anatomischen Befunden, ergibt sich für die Schweine, die tatsächlich an einer Gelenkläsion litten, folgendes Bild (Tab. 2):

Tier	Gelenk	Stadium der Entzündung	Art der Läsion	Hot Spot	Interpretation
Mastschwein	li Ellbogen	akut	Arthritis	ja	richtig +
Mastschwein	li Oberschenkel	akut	Fraktur	ja	richtig +
Mastschwein	li Ellbogen	chron.-aktiv	OCD	ja	richtig +
Jäger	li Ellbogen	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
dito	li Tarsus	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
dito	re Tarsus	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
Jäger	re Carpus	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
dito	li Ellbogen	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
Jäger	re Ellbogen	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
Mastschwein	li Tarsus	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
dito	re Tarsus	chronisch	Arthritis	nein	richtig -
Mastschwein	li Ellbogen	chronisch	Arthritis	ja	falsch +
dito	re Ellbogen	chronisch	Arthritis	nein	richtig -
Mastschwein	re Ellbogen	chronisch	Arthritis	ja	falsch +
Mastschwein	re Tarsus	chronisch	Arthritis	ja	falsch +

Tab. 2 Vergleich der pathologisch-anatomischen Befunde der 16 Schweine der Patientengruppe aus den Mastbetrieben mit den Hot Spots in den thermografischen Aufnahmen

Zu erwähnen ist hierbei, dass bei den thermografischen Resultaten in Tabelle 2 mit den absoluten Temperaturwerten, wie sie im Stall der Mastbetriebe gemessen wurden, gearbeitet wurde. Von den Aufnahmen erfolgten 6 % bei einer Umgebungstemperatur von 14° C, 19 % bei 19° C, 13 % bei 20° C, 6 % bei 22° C, 6 % bei 24° C, 25 % bei 25° C und 25 % bei 26° C.

Bei insgesamt 6 von den 16 Tieren der Patientengruppe aus den Mastbetrieben konnten in den pathologisch-anatomischen Befunden keinerlei Entzündungen an den Gelenken festgestellt werden – dies, obwohl die Tiere einerseits im Stall Lahmheitssymptome zeigten und andererseits in den thermografischen Aufnahmen der fraglichen Gelenke Hot Spots sichtbar waren (insgesamt 24 Aufnahmen falsch positiv).



#### 4.2.2 Patientengruppe aus der Abteilung für Schweinemedizin

Der Vergleich der pathologisch-anatomischen Befunde der Tiere der *Patientengruppe aus der Abteilung für Schweinemedizin* des Tierspitals in Zürich mit den thermografischen Aufnahmen präsentiert sich wie folgt (Tab.3):

Tier	Gelenk	Stadium der Entzündung	Art der Läsion	Hot Spot	Interpretation
Jäger	re Carpus	akut	Arthritis	ja	richtig +
Jäger	li Tarsus	akut	Arthritis	nein	falsch -
Jäger	li Ellbogen	akut	Arthritis	ja	richtig +
Jäger	re Ellbogen	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
Jäger	re Ellbogen	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
Jäger	re Tarsus	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
Jäger	li Ellbogen	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
dito	re Ellbogen	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
dito	li Tarsus	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
Mastschwein	re Knie	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
dito	re Tarsus	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
Jäger	li Ellbogen	chron.-aktiv	Arthritis	ja	richtig +
Muttersau, 7 Jahre	li Schulter	chron.-aktiv	OCD	ja	richtig +
dito	re Schulter	chron.-aktiv	OCD	ja	richtig +
dito	li Ellbogen	chron.-aktiv	OCD	ja	richtig +
dito	re Ellbogen	chron.-aktiv	OCD	ja	richtig +
dito	li Knie	chronisch	OCD	nein	richtig -
Eber, 1 Jahr	li Knie	chronisch	OCD	nein	richtig -
dito	re Knie	chronisch	OCD	nein	richtig -
dito	li Ellbogen	chronisch	OCD	nein	richtig -
dito	re Ellbogen	chronisch	OCD	nein	richtig -

Tab. 3 Vergleich der pathologisch-anatomischen Befunde der Schweine aus der Abteilung für Schweinemedizin mit den Hot Spots in den thermografischen Aufnahmen

Zu erwähnen ist auch hier, dass bei den thermografischen Resultaten in Tabelle 3 mit den absoluten Temperaturwerten, wie sie im Tierspital der Universität Zürich gemessen wurden, gearbeitet wurde. Von den Aufnahmen erfolgten 9 % bei einer Umgebungstemperatur von 19° C, 36 % bei 21° C, 18 % bei 24° C und 37 % bei 25° C.

### 4.3 Vergleich der pathologisch-anatomischen Befunde mit der Temperaturdifferenz

Im Folgenden (Tab. 4) werden die pathologisch-anatomischen Befunde mit den Temperaturdifferenzen zwischen Referenz- und Zielbereich der 27 Tiere aus der Patientengruppe verglichen ( $\Delta T_{RZ}$ ; Methode 2).<sup>8</sup>

	$T_{\text{Umgebung}}$ ° C	$\Delta T_{\text{eff}}^*$ ° C	$T_{\text{krit}}$ ° C
Akute Entzündungen (n=4) und 1 Femurfraktur			
Ellbogen n=2			
links	21	0.20	0.15
links	22	0.50	0.04
Carpus n=1			
rechts	25	<b>1.10</b>	1.56
Tarsus n=1			
links	25	4.10	0.55
Femurfraktur (linker Oberschenkel)	24	0.70	0.15
Chronisch-aktive Entzündungen (n=21)			
Schulter n=2			
rechts	19	1.90	1.05
links	19	1.40	1.05
Ellbogen n=11			
rechts	19	0.50	0.37
rechts	19	<b>0.10</b>	0.37
rechts	21	0.60	0.15
rechts	24	1.70	-0.18
rechts	24	0.80	-0.18
links	19	1.60	0.37
links	19	0.90	0.37
links	20	1.30	0.26
links	21	2.00	0.15
links	25	1.60	-0.29
links	25	2.30	-0.29
Carpus n=1			
rechts	19	<b>1.50</b>	2.22
Knie n=1			
rechts	25	<b>-0.50</b>	0.04

<sup>8</sup> Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse unterscheiden sich von den in Savary et al. (2008) aufgeführten Ergebnissen, da in der vorliegenden Arbeit eine Differenzierung zwischen akuten, chronisch-aktiven und chronischen Entzündungen vorgenommen wurde. Ebenfalls resultieren unterschiedliche Ergebnisse daraus, dass in dieser Arbeit mit einer Patientengruppe von 27 Tieren gearbeitet wurde (16 Schweine Patientengruppe aus den Mastbetrieben und 11 Schweine Patientengruppe Abteilung für Schweinemedizin).

Tarsus n=6			
rechts	20	1.20	1.10
rechts	21	3.30	0.99
rechts	25	0.70	0.55
links	20	1.80	1.10
links	21	3.20	0.99
links	26	2.20	0.44
Chronische Entzündungen (n=10)			
Ellbogen n=5			
rechts	21	NA	0.15
rechts	25	1.10	-0.29
rechts	26	0.10	-0.40
links	21	NA	0.15
links	26	0.10	-0.40
Knie n=3			
rechts	19	3.50	0.70
links	21	4.00	0.48
links	21	3.80	0.48
Tarsus n=2			
rechts	25	2.3	0.55
rechts	26	1.6	0.44

\* Temperaturdifferenz zwischen Originalwerten der Referenz- und Zielbereiche, wie sie im Stall oder Tierspital gemessen wurden.

Tab. 4 Temperaturdifferenz zwischen Referenz- und Zielbereich

Von den 4 akut entzündeten Gelenken konnte 1 Gelenk (25 %) und von den 21 chronisch-aktiv entzündeten Gelenken konnten 3 Gelenke (14.3 %) mit der Methode 2 Temperaturdifferenz zwischen Referenz- und Zielbereich identifiziert werden.

#### 4.4 Zusammenfassung der pathologisch-anatomischen und thermografischen Befunde

Im Folgenden werden sämtliche Befunde der Patientengruppe aus den Mastbetrieben (Tab. 5) sowie der Patientengruppe aus der Abteilung für Schweinemedizin (Tab. 6) für die Tiere mit pathologisch-anatomisch bestätigten Gelenkläsionen in jeweils einer Übersichtstabelle dargestellt.

Tier	Gelenk	Stadium der Entzündung	Art der Läsion	Bakteriologische Untersuchung*	Hot Spot	$\Delta T_{\text{eff}}$ ° C	$T_{\text{krit}}$ ° C
Mastschwein	li Ellbogen	akut	Arthritis	+ Streptokokkus ssp	richtig +	0.50	0.04
Mastschwein	li Oberschenkel	akut	Fraktur	nicht untersucht	richtig +	0.70	0.15
Mastschwein	li Ellbogen	chro.-akt.	OCD	nicht untersucht	richtig +	2.30	-.29

Jäger	li Ellbogen	chro.-akt.	Arthritis	+ unspezifischer Keimgehalt	richtig +	1.30	0.26
dito	li Tarsus	chro.-akt.	Arthritis	+ unspezifischer Keimgehalt	richtig +	1.80	1.10
dito	re Tarsus	chro.-akt.	Arthritis	+ unspezifischer Keimgehalt	richtig +	1.20	1.10
Jäger	re Carpus	chro.-akt.	Arthritis	+ Enterobakter ssp	richtig +	<b>1.50</b>	2.22
dito	li Ellbogen	chro.-akt.	Arthritis	kein mikrobieller Keimgehalt	richtig +	0.90	0.37
Jäger	re Ellbogen	chro.-akt.	Arthritis	kein mikrobieller Keimgehalt	richtig +	<b>0.10</b>	0.37
Mastschwein	li Tarsus	chro.-akt.	Arthritis	kein mikrobieller Keimgehalt	richtig +	2.20	0.44
dito	re Tarsus	chronisch	Arthritis	kein mikrobieller Keimgehalt	richtig -	1.60	0.44
Mastschwein	li Ellbogen	chronisch	Arthritis	kein mikrobieller Keimgehalt	falsch +	0.10	- 0.40
dito	re Ellbogen	chronisch	Arthritis	kein mikrobieller Keimgehalt	richtig -	0.10	- 0.40
Mastschwein	re Ellbogen	chronisch	Arthritis	kein mikrobieller Keimgehalt	falsch +	1.10	- 0.29
Mastschwein	re Tarsus	chronisch	Arthritis	+ unspezifischer Keimgehalt	falsch +	2.30	0.55

\*Der Vollständigkeit halber werden die Keimart und der Keimgehalt aufgeführt:

+ entspricht einem geringgradigen, ++ einem mittelgradigen und +++ einem hochgradigen Bakteriengehalt.

NA: Wert nicht verfügbar

Tab. 5 Pathologisch-anatomische Befunde der Patientengruppe aus den Mastbetrieben im Vergleich mit den thermografischen Befunden

Tier	Gelenk	Stadium der Entzündung	Art der Läsion	Bakteriologische Untersuchung*	Hot Spot	$\Delta T_{eff}$ ° C	$T_{krit}$ ° C
Jäger	re Carpus	akut	Arthritis	+ Streptococcus dysgalactae	richtig +	1.10	1.56
Jäger	li Tarsus	akut	Arthritis	+ Streptococcus dysgalactae	falsch -	4.10	0.55
Jäger	li Ellbogen	akut	Arthritis	+ A. pyogenes	richtig +	0.20	0.15

Jäger	re Ellbogen	chro.-akt.	Arthritis	+++ A. pyogenes	richtig +	1.70	-18
Jäger	re Ellbogen	chro.-akt.	Arthritis	++ A. pyogenes	richtig +	0.80	-18
Jäger	re Tarsus	chro.-akt.	Arthritis	+ E. Coli/ alphahämolyisierende Streptococci	richtig +	3.30	0.99
Jäger	li Ellbogen	chro.-akt.	Arthritis	+++ A. pyogenes	richtig +	2.00	0.15
dito	re Ellbogen	chro.-akt.	Arthritis	+++ A. pyogenes	richtig +	0.60	0.15
dito	li Tarsus	chro.-akt.	Arthritis	+++ A. pyogenes	richtig +	3.20	0.99
Mastschwein	re Knie	chro.-akt.	Arthritis	+++ A. pyogenes	richtig +	- 0.50	0.04
dito	re Tarsus	chro.-akt.	Arthritis	+ A. pyogenes	richtig +	0.70	0.55
Jäger	li Ellbogen	chro.-akt.	Arthritis	+ Streptococcus dys- galactae	richtig +	1.60	-29
Muttersau, 7 Jahre	li Schulter	chro.-akt.	OCD	nicht untersucht	richtig +	1.40	1.05
dito	re Schulter	chro.-akt.	OCD	nicht untersucht	richtig +	1.90	1.05
dito	li Ellbogen	chro.-akt.	OCD	nicht untersucht	richtig +	1.60	0.37
dito	re Ellbogen	chro.-akt.	OCD	nicht untersucht	richtig +	0.50	0.37
dito	li Knie	chronisch	OCD	nicht untersucht	richtig -	3.50	0.70
Eber, 1 Jahr	li Knie	chronisch	OCD	nicht untersucht	richtig -	4.00	0.48
dito	re Knie	chronisch	OCD	nicht untersucht	richtig -	3.80	0.48
dito	li Ellbogen	chronisch	OCD	nicht untersucht	richtig -	NA	0.15
dito	re Ellbogen	chronisch	OCD	nicht untersucht	richtig -	NA	0.15

\*Der Vollständigkeit halber werden die Keimart und der Keimgehalt aufgeführt:

+ entspricht einem geringgradigen, ++ einem mittelgradigen und +++ einem hochgradigen Bakteriengehalt.

NA: Wert nicht verfügbar

Tab. 6 Pathologisch-anatomische Befunde der Patientengruppe aus der Abteilung für Schweinemedizin im Vergleich mit den thermografischen Befunden

## 5 Fallbeispiele und Kommentare

Im Folgenden werden fünf Fallbeispiele besprochen, indem die pathologisch-anatomischen Befunde mit den thermografischen Befunden (Hot Spots und Temperaturdifferenz  $\Delta T_{RZ}$ ) verglichen werden.

### 5.1 Fall 1: Hochgradige, akute Entzündung des linken Ellbogens

Edelschwein, männlich, 107 kg, gehalten auf Teilspaltenboden ohne Einstreu, lahmte an der vorderen, linken Extremität. In der klinischen Untersuchung wurde eine leichtgradige Umfangsvermehrung im Bereich des linken Ellbogengelenks festgestellt.

Das linke Ellbogengelenk enthielt ca. 10 ml leicht trübe Synovia, die Zotten waren mittel- bis hochgradig gerötet und die Gelenkkapsel sulzig verdickt (Abb. 4).



Abb. 4

Eröffnetes, linkes Ellbogengelenk mit geröteten Zotten und sulzig verdickter Gelenkkapsel

Die bakteriologische Untersuchung des linken Ellbogengelenks ergab einen kulturell geringgradigen Gehalt an Streptokokken ssp.

In der histologischen Untersuchung des linken Ellbogengelenks wurde eine hochgradige Proliferation der Synovialiszotten mit deutlicher Aktivierung des Zottenepithels, eine mittelgradige Infiltration mit Plasmazellen und Lymphozyten und eine hochgradige Infiltration mit intakten und degenerierten neutrophilen Granulozyten in die Zotten festgestellt. Die Gelenkkapsel war ödematös und verdickt (Abb. 5).

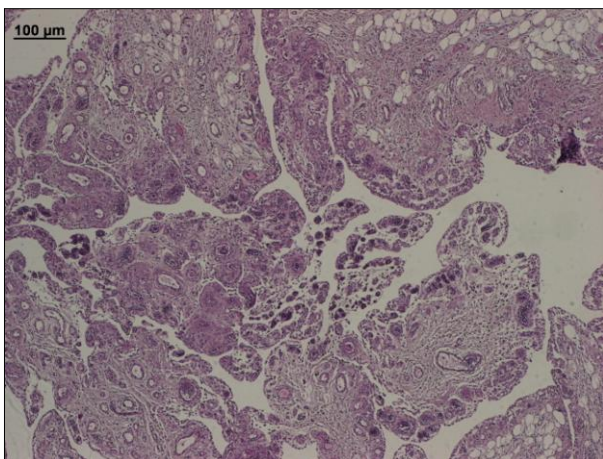


Abb. 5

Histologisches Bild der hochgradig proliferierten Synovialiszotten, HE

In der thermografischen Aufnahme war ein Hot Spot im kaudalen bzw. distalen Bereich des linken Ellbogengelenks zu sehen (Abb. 6). Ebenfalls sichtbar in der Thermografieaufnahme war eine Aufhellung über dem linken Schulterblatt, die auf einen subkutanen Abszess zurückgeführt werden konnte. Für diesen ergab die bakteriologische Untersuchung einen kulturell geringgradigen Gehalt an Staphylokokken ssp.

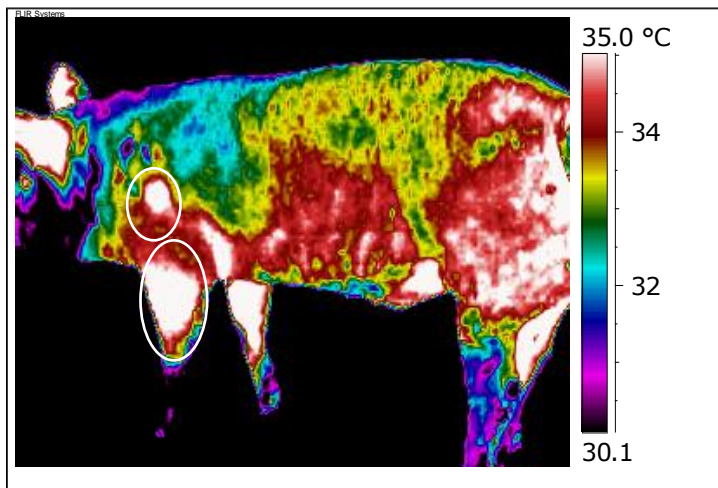


Abb. 6  
Hot Spots im kaudolateralen und distalen Bereich des linken Ellbogengelenks und des linken Schulterblattes

Kaudolateraler und distaler Bereich des rechten Ellbogens waren deutlich weniger warm. Die Temperaturdifferenz zum linken Ellbogen betrug ca. 3° C. Das gleiche Tier von rechts aufgenommen (Abb. 7):

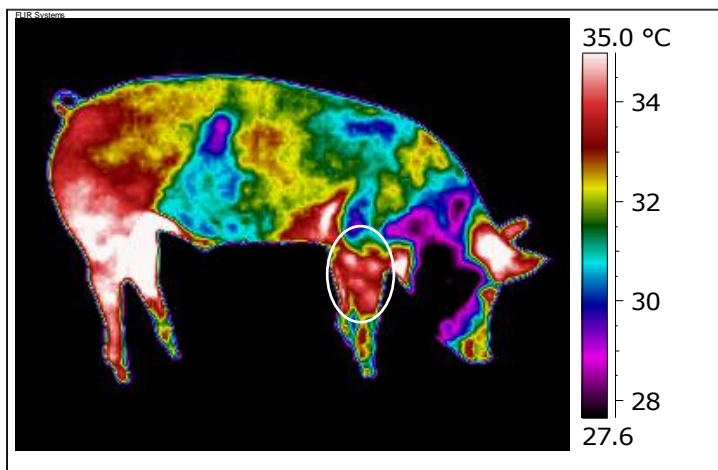


Abb. 7  
Der rechte Ellbogen ist deutlich weniger warm als der linke Ellbogen

Die Messwerte der thermografischen Untersuchung des linken Ellbogengelenks präsentieren sich wie folgt (Tab. 7):

Referenzbereich in °C	36.4
Zielbereich (Ellbogen links) in °C	35.9
Lufttemperatur in °C	22
$\Delta T_{\text{eff}}$ in °C	0.5
$T_{\text{krit}}$ in °C	0.04

Tab. 7 Messwerte der thermografischen Untersuchung Fallbeispiel 1

Die pathologisch-anatomischen Untersuchungen ergaben eine hochgradige, akute, eitrig-abszedierende Entzündung mit bakterieller Besiedelung und hochgradiger Proliferation der Synovialzotten des linken Ellbogengelenks. Die in der thermografischen Aufnahme sichtbaren Hot Spots im kaudalen und distalen Bereich des linken Ellbogengelenks wiesen auf eine Entzündung hin, die durch den pathologisch-anatomischen Befund bestätigt wurde. Die gemessene Temperaturdifferenz von 0.5 °C ist jedoch über dem kritischen Wert von 0.04 °C, was zu einem falsch-negativen Befund geführt hätte.

## 5.2 Fall 2: Mittelgradige, chronisch-aktive, eitrige Karpitis

Edelschwein, männlich, 43 kg, gehalten auf Teilspaltenboden mit Einstreu, lahmte seit einigen Tagen an der vorderen, rechten Extremität. Bei der klinischen Untersuchung wurde eine mittelgradige Schwellung und Erwärmung des rechten Karpalgelenks festgestellt.

Die Synovialis im mittleren Gelenkspalt des rechten Karpalgelenks war makroskopisch hochgradig diffus gerötet und die Gelenkkapsel sulzig verdickt (Abb. 8). Die restlichen Gelenkstrukturen waren makroskopisch unverändert.



Abb. 8  
Mittlerer Gelenkspalt des rechten Karpalgelenks mit stark geröteten Zotten und sulzig verdickter Gelenkkapsel

Bei der bakteriologischen Untersuchung der Synovia des rechten Karpalgelenks wurde ein kulturell geringgradiger, unspezifischer Keimgehalt festgestellt.

In der histologischen Untersuchung (Abb. 9) waren mehrere umschriebene Nekroseherde der Synovialzotten zu sehen.

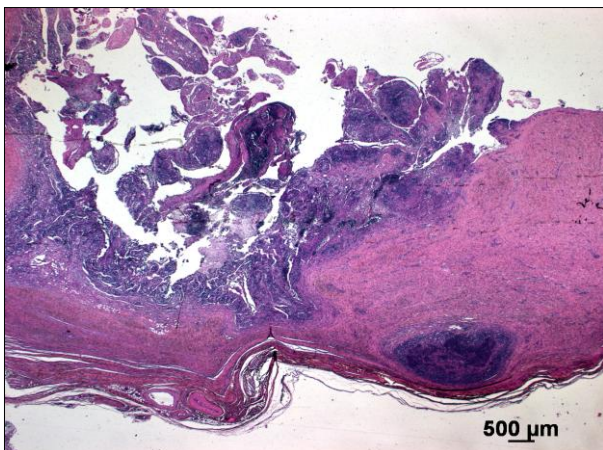


Abb. 9  
Karpalgelenk rechts: Hochgradige Zottenproliferation und eitrig-nekrotisierende Entzündung der Synovialzotten mit Gewebeschmelzung (rechts unten im Bild), HE



Weiter wurden eine hochgradige Zottenproliferation mit hochgradig diffuser Aktivierung der Synovialiszellen, hochgradig diffuser Gefäßeinsprossung in die Synovialiszotten und eine beginnende Follikelbildung festgestellt. Ebenfalls waren eine mittelgradige, umschriebene Infiltration mit neutrophilen Granulozyten, diffus verteilten Makrophagen, Lymphozyten und Plasmazellen erkennbar (Abb. 10).

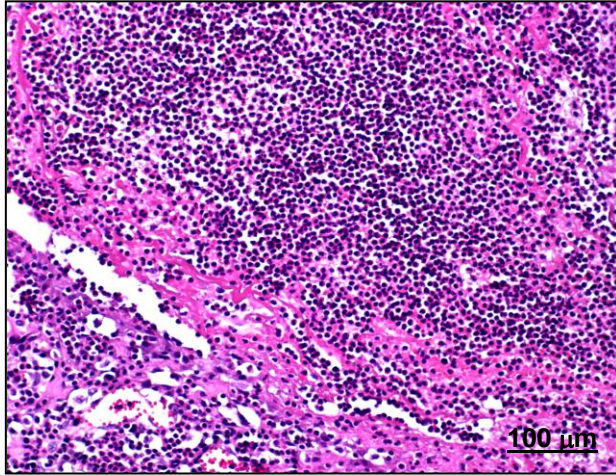


Abb. 10:  
Karpalgelenk rechts: Mittelgradige, umschriebene Infiltration mit neutrophilen Granulozyten und diffus verteilten Lymphozyten, Plasmazellen und Makrophagen, HE

Die in der klinischen Untersuchung festgestellte, mittelgradige Schwellung des rechten Karpalgelenks erschien im Thermografiebild als Umfangsvermehrung mit leicht- bis mittelgradiger, zentraler Erwärmung – sichtbar als Hot Spot (Abb. 11).

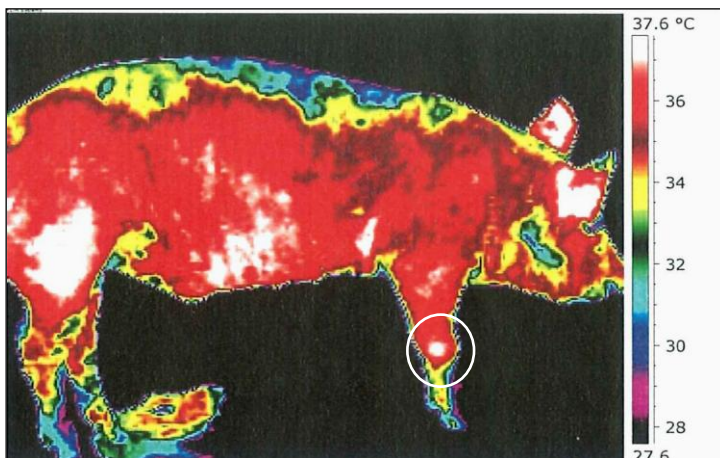


Abb. 11  
Deutliche Schwellung und Erwärmung des rechten Karpalgelenks

Das rechte Karpalgelenk war im Vergleich zum linken deutlich erwärmt und wies eine hochgradige Umfangsvermehrung auf (Abb. 12).

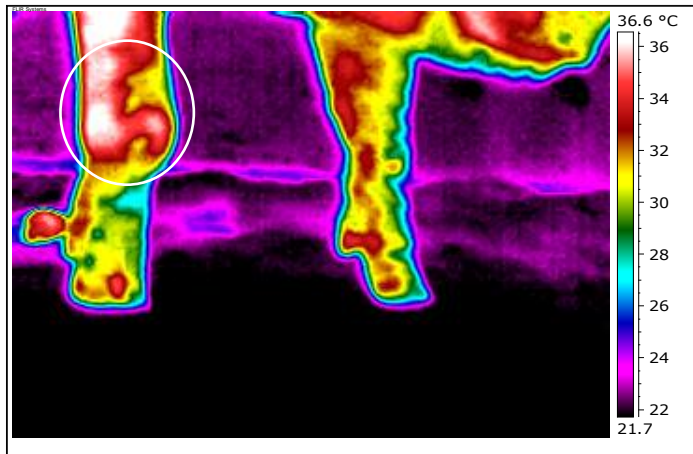


Abb. 12  
Thermografische Detailaufnahme des gleichen Tiers von kranial

Die Messwerte der thermografischen Untersuchung des rechten Karpalgelenks präsentieren sich wie folgt (Tab. 8):

Referenzbereich in °C	37.8
Zielbereich (Karpalgelenk rechts) in °C	36.3
Lufttemperatur in °C	19
$\Delta T_{\text{eff}}$ in °C	1.5
$T_{\text{krit}}$ in °C	2.22

Tab. 8 Messwerte der thermografischen Untersuchung Fallbeispiel 2

Die pathologisch-anatomische Diagnose lautete mittelgradige, chronisch-aktive, eitrig-abszedierende Karpitis mit Nachweis eines geringgradigen, unspezifischen Keimgehalts und sulziger Verdickung der Gelenkkapsel. Die histologisch festgestellte Entzündung war im thermografischen Bild als Hot Spot erkennbar. Auch die Temperaturdifferenz von 1.5 °C lag deutlich unter dem kritischen Wert von 2.22 °C.

### 5.3 Fall 3: Hochgradige, chronisch-aktive Entzündung des linken Ellbogengelenks

Edelschwein, weiblich, 80 kg, weist eine hochgradige Lahmheit vorne links auf. 10 Tage vor der Sektion wurde das Tier mit Penizillin behandelt.

Beim Eröffnen der Kapsel des linken Ellbogengelenks (Abb. 13) traten 15 ml leichtgradig trübe Synovialflüssigkeit aus. Der mediale Kondylus wies eine hochgradige Osteolyse auf, der laterale Kondylus eine ausgedehnte, subchondrale Verformung der Knochenplatte und eine hochgradige Chondrolyse. Mehrere Knorpelfragmente lagen lose in der Gelenkkapsel. Der Gelenkknorpel des Caput radii war hochgradig blumenkohlartig verändert, die Gelenkkapsel war stark erweitert und die Zotten hochgradig hypertrophiert. Distal des Olekranons befand sich eine grosslumige, mit rötlicher, klarer Flüssigkeit gefüllte Kapsel mit einem Durchmesser von 4 cm, die nicht mit der Gelenkkapsel des Ellbogengelenks kommunizierte.



Abb. 13  
Osteochondrotische Läsionen des linken Ellbogengelenks: Osteolyse des medialen (im Bild links) Kondylus und Chondrolyse bzw. Verformung der subchondralen Knochenplatte des lateralen Kondylus

Die bakteriologische Untersuchung ergab einen geringgradigen Gehalt an koagulasen negativen Staphylokokken. Die Interpretation dieses Befundes blieb unklar, insbesondere auch weil das Schwein in den Tagen vor der Sektion durch den Besitzer zwei Mal mit 5 ml Duplucillin i.m. antibiotisch behandelt wurde. Sowohl eine Infektion des Tieres in vivo als auch eine postmortale Kontamination bei der Probeentnahme waren nicht ausgeschlossen, da eine Osteochondrose üblicherweise nicht mit einer Infektion des Gelenks einhergeht.

In der histologischen Untersuchung wurden eine hochgradige Zottenhypertrophie mit Aktivierung des Zottenepithels und leichtgradiger Kapillareinsprossung, leichtgradige Plasmazell-, Makrophagen- und Lymphozyteninfiltration, leichtgradige, umschriebene Neutrophileninfiltration, perivaskuläre Rundzellinfiltration und Ödembildung festgestellt. Weiter konnten mehrere lose Knorpelfragmente diagnostiziert werden (Abb. 14).

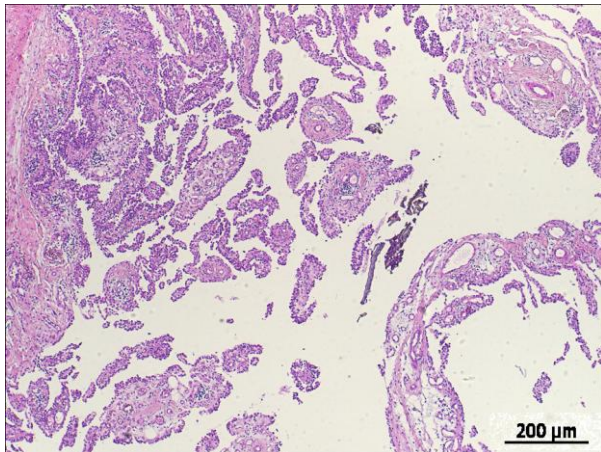


Abb. 14  
Histologischer Schnitt der Synovialis des linken Ellbogengelenks mit Zottenhypertrophie, gemischt-zelliger Infiltration und Knorpelfragment (dunkel), leicht rechts von der Bildmitte, HE

In der thermografischen Aufnahme war eine hochgradige Erwärmung distal des linken Ellbogengelenks als Hot Spot erkennbar (Abb. 15). Die Erwärmung des linken Kniegelenks stammte von zwei oberflächlichen Hautschürfungen. Die mediale Seite der Extremitäten war physiologischerweise wärmer und durfte nicht als Entzündung interpretiert werden.



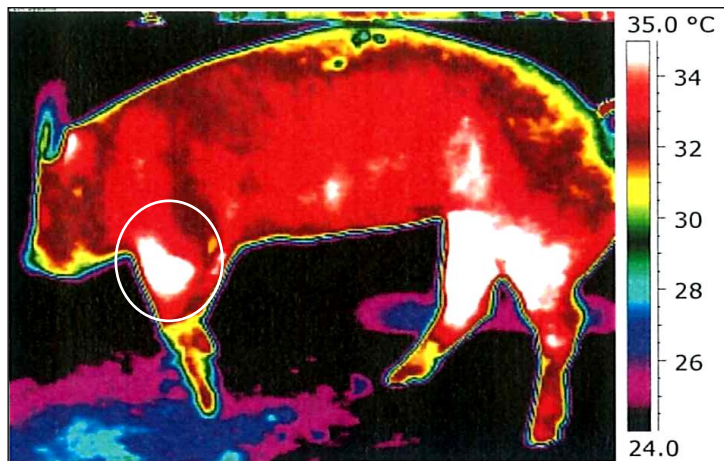


Abb. 15  
Erwärmung distal des linken  
Ellbogengelenks, sichtbar als Hot Spot

Die Messwerte der thermografischen Untersuchung des linken Ellbogengelenks präsentieren sich wie folgt (Tab. 9):

Referenzbereich in °C	34.6
Zielbereich (Ellbogen links) in °C	32.3
Lufttemperatur in °C	25
$\Delta T_{\text{eff}}$ in °C	2.30
$T_{\text{krit}}$ in °C	-.29

Tab. 9 Messwerte der thermografischen Untersuchung Fallbeispiel 3

Die pathologisch-anatomische Diagnose lautete Osteochondrose dissecans mit hochgradiger, chronisch-aktiver, eitriger Entzündung des Synovialisepithels, hochgradiger Zottenhypertrophie, hochgradiger Chondrolyse und Osteolyse mit mehreren, abgelösten Knorpelfragmenten, hochgradiger Füllung des Gelenkes und Bildung einer grosslumigen Zyste distal des Olekranons.

Das thermografische Bild mit dem Hot Spot distal des linken Ellbogengelenks (Abb. 15) war schwierig zu interpretieren. Möglich war a) eine vermehrte Wärmebildung der Unterarmmuskulatur als Folge einer verstärkten Kontraktion infolge Schmerzen im linken Ellbogengelenk oder b) dass die entzündungsbedingte Wärmebildung weiter proximal im Bereich des betroffenen Ellbogengelenks wegen der Wärmeisolation durch das Fettgewebe nicht sichtbar war. Die Korrelation des Hot Spots mit den pathologisch-anatomischen Befunden war nicht eindeutig. Die Temperaturdifferenz ist mit 2,30° C weit über dem kritischen Wert von -0,29° C und lässt ebenfalls keinen Schluss auf einen krankhaften Prozess zu.

#### 5.4 Fall 4: Mittelgradige, chronische Gonitis

Zuchteber, 220 kg, mit hochgradiger Stützbeinlahmheit hinten links, war nicht mehr in der Lage zu decken und zudem therapieresistent auf Antibiotika.

Bei der röntgenologischen Abklärung wurde im linken Kniegelenk (Abb. 16) eine mittelgradige, chronische Gonitis aufgrund einer Osteochondrose-Läsion im lateralen Femurrollkamm diagnostiziert.



Abb. 16

Kaudokraniale Aufnahme des linken Kniegelenks: Mittelgradig vermehrte Gelenksfüllung, leichtgradige Osteophytenbildung an medialem und lateralem Rand des Tibiaplateaus, leichtgradige, unscharf begrenzte, röntgendurchlässige Zone im lateralen Femurkondylus

Die Sektion ergab eine hochgradige Chondrolyse und Osteolyse des medialen und lateralen Kondylus des linken Femurs (Abb. 17), des linken Tibiaplateaus (Abb. 18) sowie eine mittelgradige Osteophytenbildung der Eminentia intercondylaris.



Abb. 17

Hochgradige Chondrolyse und Osteolyse des Condyly lateralis und medialis des linken Femurs



Abb. 18

Chondrolyse, Osteolyse und Osteophytenbildung des Tibiaplateaus des linken Knies

Die bakteriologische Untersuchung ergab kulturell keinen mikrobiellen Keimgehalt in der Synovialflüssigkeit der osteochondrotisch veränderten Gelenke.

In der Histologie wurden die typischen Befunde einer chronischen OCD festgestellt (Abb. 19). Die Synovialis zeigte eine hochgradige, diffuse Zottenhypertrophie mit diffuser Aktivierung des Synovialisepithels, eine hochgradige Gefässeinsprossung in die Synovialzotten und eine ausgeprägte Follikelbildung.

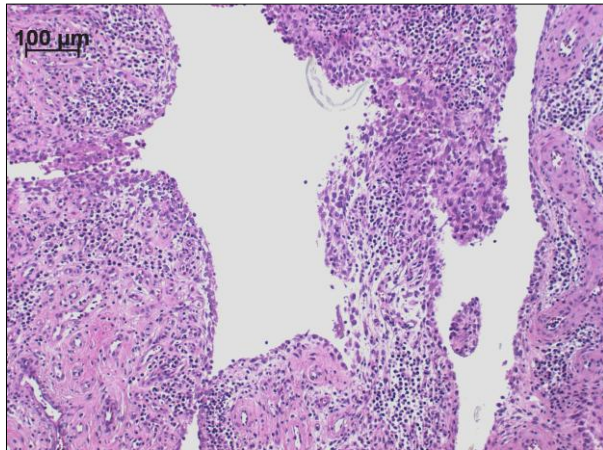


Abb. 19

Synovialis des linken Kniegelenks: Hochgradige, diffuse Zottenhypertrophie mit diffuser Aktivierung des Zottenepithels, HE

Bei stärkerer Vergrößerung (Abb. 20) waren eine mehrschichtige, aktivierte Synovialis (links im Bild), Lymphfollikel und Plasmazellen sichtbar. Neutrophile Granulozyten waren nicht vorhanden.

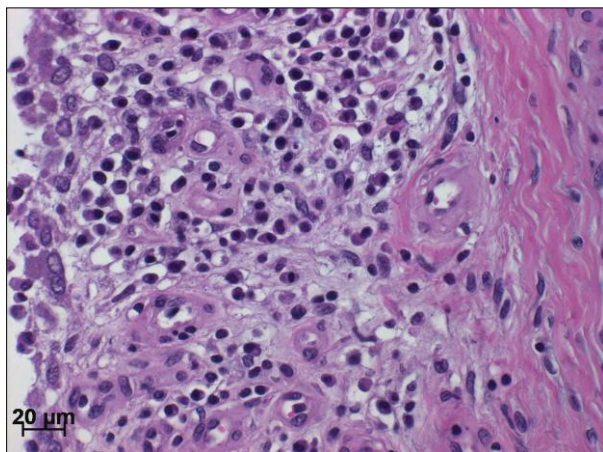


Abb. 20

Mehrschichtiges, aktiviertes Synovialisepithel (links im Bild) und Lymphozyten (Bildmitte) mit Tendenz zur Follikelbildung, HE

Im Thermografiebild (Abb. 21) waren keine Anzeichen einer Entzündung des Kniegelenks zu sehen. Das Kniegelenk wurde für die thermografischen Aufnahmen ausgeschoren. Deutlich zu sehen war die Isolationswirkung der Borsten, die eine vorhandene Entzündung kaschiert hätte.

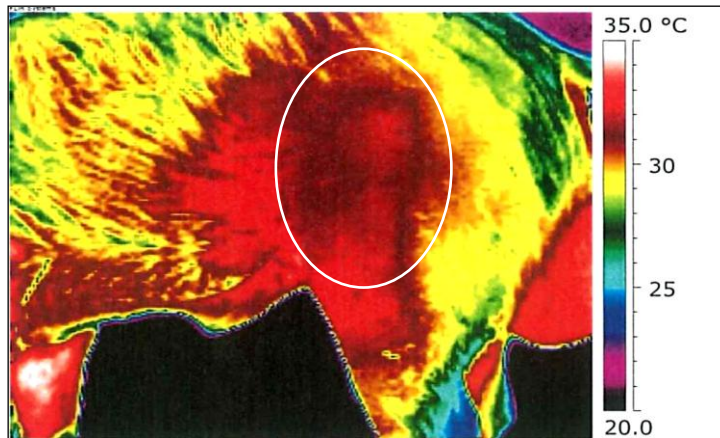


Abb. 21  
Linkes Kniegelenk, ausgeschoren, keine Hot Spots erkennbar

Die Messwerte der thermografischen Untersuchung des linken Kniegelenks präsentieren sich wie folgt (Tab. 10):

Referenzwert in °C	34.8
Zielbereich (Knie links) in °C	30.8
Lufttemperatur in °C	21
$\Delta T_{\text{eff}}$ in °C	4
$T_{\text{krit}}$ in °C	0.48

Tab. 10 Messwerte der thermografischen Untersuchung Fallbeispiel 4

Die pathologisch-anatomische Diagnose lautete mittelgradige, chronische Gonitis aufgrund einer Osteochondrose dissecans mit hochgradiger Chondrolyse und Osteolyse des medialen und lateralen Kondylus des linken Femurs sowie des linken Tibiaplateaus. In der thermografischen Aufnahme des linken Kniegelenks war kein Hot Spot sichtbar, auch die Temperaturdifferenz von 4° C korreliert mit den pathologisch-anatomischen Befunden.

## 5.5 Fall 5: Oberschenkelfraktur

Mastschwein, weiblich, 40 kg, lahmte hinten links nach einem Unfall beim Einstellen. In der klinischen Untersuchung zeigte das Schwein eine hochgradige Stützbeinlahmheit der hinteren linken Extremität und eine mittelgradige Umfangsvermehrung im Oberschenkel- und Tarsalbereich links. Weitere klinische Abklärungen wären nur unter Vollnarkose möglich gewesen, da sich das Tier schmerzbedingt nicht untersuchen liess.

In der Sektion wurde ein hochgradiges Unterhautödem, ein ausgedehntes Hämatom und eine Spiralfraktur im Bereich der Diaphyse des Femurs festgestellt. Das proximale Fragment des Femurs hatte sich durch das Körpergewicht nach distal verschoben. Die scharfen Kanten der Bruchstelle führten in Folge zu erheblichen Läsionen der Muskulatur auf Höhe des Knies mit ausgedehnten Hämatomen (Abb. 22).



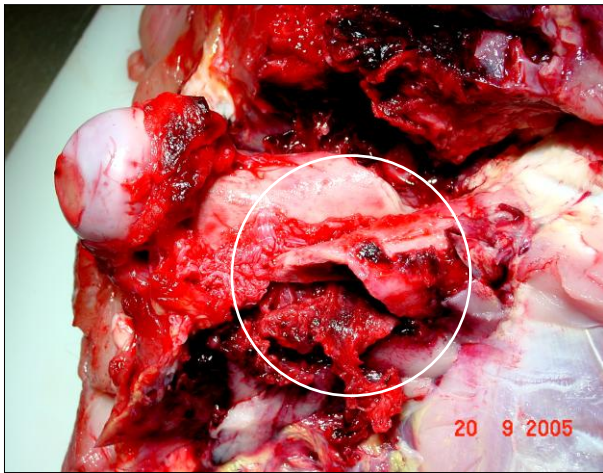


Abb. 22  
Spiralfraktur des linken Femurknochens

Die Histologie der Muskulatur zeigte bei 4-facher Vergrößerung (Abb. 23) ausgedehnte Hämatome und ausgedehnte nekrotische Herde der Muskelfasern.

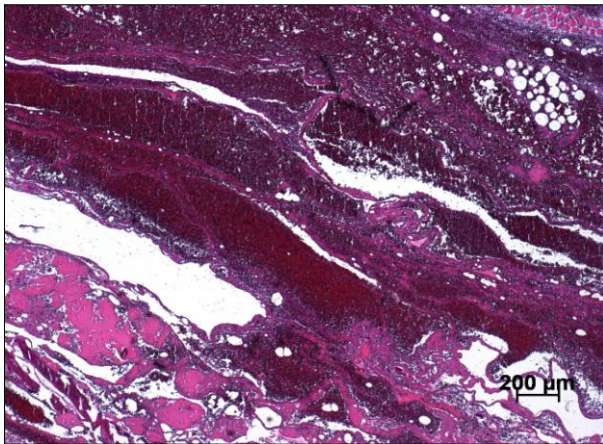


Abb. 23  
Akute Entzündung der Muskulatur mit ausgedehnten Hämatomen, gerissenen Muskelfasern, Nekrosen und Proteinseen, HE

Bei 20-facher Vergrößerung (Abb. 24) war eine hochgradige Infiltration mit Neutrophilen, wenigen Makrophagen, Plasmazellen und Lymphozyten zu sehen.

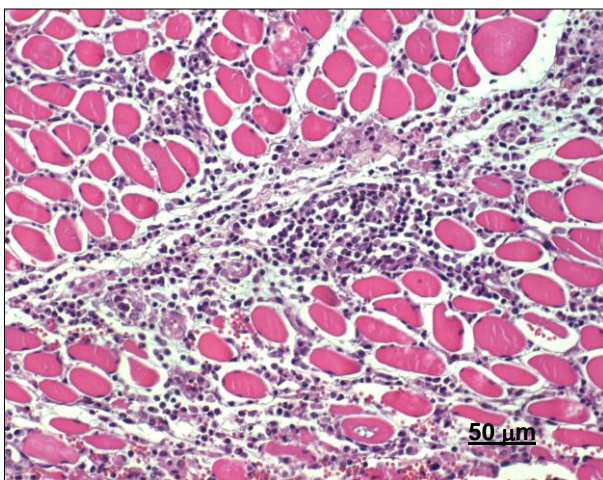


Abb. 24  
Hochgradige gemischtzellige Infiltration der Muskulatur, HE



Die thermografischen Aufnahmen zeigten auf der Schenkelinnen- und aussenseite (Abb. 25 und Abb. 26) der hinteren linken Extremität ein umschriebenes Areal mit erhöhter Temperatur. Der Herd lag offensichtlich in der Tiefe, da er auf der Schenkelinnen- und aussenseite auf gleicher Höhe zu sehen war. Die Läsion lag auf Kniehöhe. Der frakturierte Femurschaft war infolge des Körpergewichts nach distal gedrungen und hatte zu erheblichen Läsionen der Muskulatur in diesem Bereich geführt. Die thermografische Aufnahme zeigte im Bereich des Oberschenkels der hinteren linken Extremität ein umschriebenes Areal mit erhöhter Temperatur (Abb. 25).

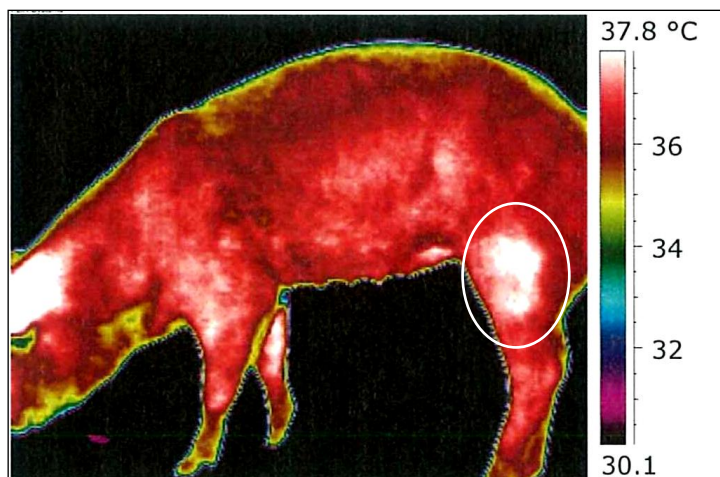


Abb. 25  
Umschriebenes Areal mit erhöhter Temperatur im Bereich des Oberschenkels der hinteren linken Extremität

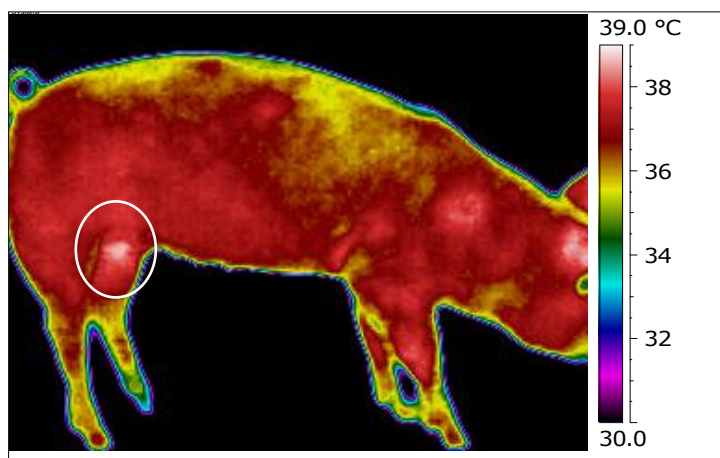


Abb. 26  
Extremität hinten links mit Erwärmung der Schenkelinnenseite

Die Messwerte der thermografischen Untersuchung der Aussenseite des linken Oberschenkels präsentieren sich wie folgt (Tab. 11):

Referenzbereich in °C	39.1
Zielbereich (Oberschenkel links, Aussenseite) in °C	38.4
Lufttemperatur in °C	24
$\Delta T_{\text{eff}}$ in °C	0.7
$T_{\text{krit}}$ in °C	0.15

Tab. 11 Messwerte der thermografischen Untersuchung, Fallbeispiel 5

Die pathologisch-anatomische Diagnose lautete Spiralfraktur der Diaphyse des Femurs mit ausgedehnten, hochgradigen Läsionen der umgebenden, insbesondere der distalen Oberschenkelmuskulatur und ausgedehnten Hämatomen. Die Temperaturdifferenz lag mit  $0.70^{\circ}\text{C}$  über dem kritischen Wert und korrelierte nicht mit dem im Thermografiebild sichtbaren Hot Spot, dem pathologisch-anatomischen sowie histologischen Befund.

## 6 Diskussion

Bei der Auswahl der 16 Tiere der *Patientengruppe* aus den *Mastbetrieben* mit Gliedmassenproblemen war die in der Bucht beobachtete Lahmheit der Schweine das Kriterium für eine thermografische Abklärung. Tiere mit entsprechenden Hot Spots in den Thermografieaufnahmen wurden dann in die Patientengruppe aufgenommen. Der Vergleich der Hot Spots mit den pathologisch-anatomischen Befunden ergibt zusammengefasst folgendes Resultat (Tab. 12):

Tiere	Untersuchte Gelenke	Gelenke mit Läsionen	Gelenke ohne Befund	richtig +	falsch +	richtig -	falsch -
16	160	14 (+ 1 Fraktur)	145	10	27	123	0

Tab. 12 Vergleich thermografischer und pathologisch-anatomischer Befunde

Sowohl das akut entzündete Gelenk als auch die Femurfraktur waren als Hot Spot in den Thermografieaufnahmen sichtbar. Von den 8 chronisch-aktiv entzündeten Gelenken waren ebenfalls alle als Hot Spot in den Aufnahmen sichtbar. Von den 5 chronisch entzündeten Gelenken waren 3 als Hot Spot sichtbar und somit falsch positiv, während 2 chronisch entzündete Gelenke in den Aufnahmen nicht sichtbar waren (richtig negativ). Augenfällig ist der hohe Anteil von 27 falsch positiven thermografischen Befunden: An 24 Gelenken waren in den Thermografieaufnahmen Hot Spots sichtbar, obwohl bei den pathologisch-anatomischen Untersuchungen keine krankhaft veränderten Gelenke festgestellt werden konnten, bei 3 Gelenken waren Hot Spots sichtbar, obwohl diese chronisch entzündet waren.

Die 11 Tiere der *Patientengruppe* aus der *Abteilung für Schweinemedizin*, die wegen erkrankter Gliedmassen ins Tierspital eingeliefert wurden, hatten alle eine klinisch und teilweise auch röntgenologisch gesicherte Läsion der Gelenke. Der Vergleich der Hot Spots mit den pathologisch-anatomischen Befunden ergibt zusammengefasst folgendes Resultat (Tab. 13):

Tiere	Untersuchte Gelenke	Gelenke mit Läsionen	Gelenke ohne Befund	richtig +	falsch +	richtig -	falsch -
11	110	21	89	15	2	92	1

Tab. 13 Vergleich thermografischer und pathologisch-anatomischer Befunde

Von den drei akut entzündeten Gelenken wiesen zwei Gelenke entsprechende Hot Spots auf (richtig positiv), bei einer akuten Gelenkentzündung wurde kein Hot Spot gefunden (falsch negativ). Bei den chronisch-aktiven und chronischen Entzündungen stimmten die thermografischen und die pathologisch-anatomischen Befunde überein: Alle 13 chronisch-aktiven Entzündungen waren in den Thermografieaufnahmen als Hot Spot sichtbar (richtig positiv). Die fünf chronischen Entzündungen waren in den Thermografieaufnahmen nicht sichtbar (richtig negativ).

Der Vergleich von Tabelle 12 und Tabelle 13 zeigt einerseits, dass in der Klinik in Bezug auf die visuelle Beurteilung der Thermografieaufnahmen mit 1.8 % deutlich weniger falsch positive Befunde erhoben wurden als in den Mastbetrieben mit 16.9 % - dies, obwohl die Patientengruppe in der Tierklinik bei ähnlich hohen Umgebungstemperaturen wie im Stall thermografiert wurde. Folglich können mit der hohen Umgebungstemperatur alleine die falsch positiven thermografischen Befunde nicht hinreichend erklärt werden. Weitere Ursachen für falsch positive thermografische Befunde dürften eine gesteigerte Durchblutung der Extremitäten infolge vermehrter Bewegung der aufgeregten Tiere während der Anwesenheit des Thermografieren-

den in der Bucht, das Liegen auf prominenten Körperstellen mit nachfolgender Hyperämie der Haut oder enges Beieinanderliegen der Tiere in der Bucht sein. Hinzu kommen oberflächliche Hautläsionen, Prellungen, Hämatome sowie Dermatosen, die eine thermografisch messbare Erwärmung der Körperoberfläche zur Folge haben.

Ursachen für falsch negative thermografische Befunde bei akuten oder chronisch-aktiven Entzündungen sind verschmutzte resp. nasse Gliedmassen oder das Liegen auf kaltem Boden. Insbesondere Fettgewebe kann Entzündungen „kaschieren“, so dass sie in den Thermografieaufnahmen nicht mehr als Hot Spot sichtbar sind.

Da die visuelle Beurteilung der Thermografiebilder für eine zuverlässige Diagnose nicht ausreicht (Problem der falsch positiven Befunde), wurden zwei zusätzliche Methoden geprüft, um zumindest den Haupteinfluss der Umgebungstemperatur auszuschliessen bzw. zu berücksichtigen. Methode 1 ( $\Delta T_{ZZ}$ ), bei der die Temperaturdifferenz zwischen anatomisch symmetrischen Zielbereichen untersucht wird, kann beim Schwein nicht angewendet werden. Bei rund 33 % der Messungen der Kontrollgruppe wurde eine Temperaturdifferenz zwischen anatomisch symmetrischen Arealen gemessen, die grösser war als  $1^\circ \text{C}$ . In diesen Fällen wäre fälschlicherweise eine Entzündung diagnostiziert worden. Bei Methode 2 ( $\Delta T_{RZ}$ ) wurde die Temperaturdifferenz zwischen Referenz- und Zielbereich berechnet und mit einem kritischen Wert, der gelenksspezifisch und in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur festgelegt wurde, verglichen. Von den 4 akut entzündeten Gelenken konnte 1 Gelenk (25 %) und von den 21 chronisch-aktiv entzündeten Gelenken konnten 3 Gelenke (14.3 %) mit der Methode 2 identifiziert werden.

Diese Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass die Thermografie weder in Bezug auf die visuelle Beurteilung mittels Hot Spots noch in Bezug auf die Methode der Temperaturdifferenz zwischen Referenz- und Zielbereich ein ausreichend zuverlässiges Instrumentarium zur Identifizierung von Gelenkentzündungen bei Mastschweinen darstellt. Die thermografischen Befunde dürfen folglich nicht als alleiniges Kriterium für die Diagnose von Gelenkentzündungen verwendet werden, sondern müssen durch weitere Abklärungen ergänzt und in ein diagnostisches Gesamtbild eingepasst werden.

Die Thermografie weist eine hohe Sensitivität auf und vermag die an der Oberfläche einer Extremität auftretende Infrarotstrahlung präzise zu messen. Es ist aber anhand thermografischer Aufnahmen kaum möglich zu beurteilen, welche Gelenksstrukturen in welchem Ausmass von einer Entzündung betroffen sind. Folglich ist eine bezüglich Therapie und Prognose insbesondere in der Schweinemedizin relevante Differenzierung einer Arthritis von einer Osteochondrose nicht möglich. Des Weiteren lassen sich akute nicht von chronisch-aktiven Gelenkentzündungen unterscheiden.

Erschwerend beim Einsatz der Thermografie sind die externen Störfaktoren: Aufgrund des erheblichen Einflusses der Umgebungstemperatur sowie der Luftfeuchtigkeit, des Kamera-Tier-Abstands, des Alters und des Gewichts der Tiere sollten diese Faktoren bei vergleichenden Untersuchungen entweder konstant gehalten oder durch die Verwendung von entsprechenden Korrekturwerten berücksichtigt werden (Savary et al., 2008).

Angeichts der Tatsache, dass sich die Kosten für eine Thermografiekamera auf mindestens Fr. 15'000.-- belaufen, stellt sich die Frage, ob die Erfahrung des Tierarztes bei der Beurteilung palpatorischer Befunde wie Schwellung, Erwärmung, Pulsation, Schmerz oder eingeschränkte Funktion nicht ebenso gehaltvolle, möglicherweise sogar zuverlässigere Informationen liefert.

In diesem Falle könnte das Ziel, Gelenksentzündungen zu diagnostizieren auf einem weitaus kostengünstigeren Weg erreicht werden.

Abschliessend lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse der thermografischen Untersuchungen bei lahmen Pferden (Wieland, 1992, Weil, 1998, Turner, 2001, Schulze, 2003) sowie bei Lahmheits- und Trächtigkeitsuntersuchungen bei Zootieren (Hilsberg, 2000) in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden konnten. Die Thermografie ist ein hochsensibles Verfahren zur Messung von Infrarotstrahlung, wobei viele Faktoren den Wert der zu messenden Infrarotstrahlung beeinflussen. Diese Faktoren zu kontrollieren und gegebenenfalls zu neutralisieren, ist aufwändig und in einem Schweinestall kaum zu realisieren. Weiter spielen tierartspezifische Besonderheiten wie Verhalten, Stressanfälligkeit oder Grösse eines Tieres eine nicht zu unterschätzende Rolle. Aus diesen Gründen sind die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit nur für Schweine in ihrer besonderen Umgebung aussagekräftig und keineswegs auf andere Tierarten mit ihren jeweiligen arttypischen Umweltbedingungen übertragbar.

## 7 Literatur

- Hilsberg, S.: Aspekte zur klinischen Anwendung der Infrarot-Thermografie in der Zoo- und Wildtiermedizin. Dissertation, Universität Leipzig, 2000.
- Huynh, T. T. T.; Aarnink, A. J. A.; Verstegen, M. W. A.; Gerrist, W. J. J.; Heetkamp, M. J. W.; Kemp, B.; Canh, T. T.: Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. *J. Anim. Sci.* 2005, 83: 1385-1396.
- Sabec, D.; Lazar, P.: Erste Ergebnisse berührungsloser Temperaturmessungen mittels eines Infrarotthermometers am Sprunggelenk des Schweines mit Osteoarthritis tarsi deformans. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift.* 1990, 97: 43-44.
- Savary, P., Hauser R., Ossent P., Jungbluth T., Gyax, L., Wechsler, B.: Eignung der Thermographie zur Erfassung von Entzündungen an den Gliedmassen von Mastschweinen. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift.* 2008, 115(9): 324-329.
- Schulze, M.: Thermografie am Huf. Dissertation, Universität Berlin, 2003.
- Turner, T. A.: Diagnostic thermography. *Veterinary Clinics of North America: equine practice.* 2001, 17: 95-113.
- Weil, M.; Litzke, L.-F.; Fritsch, R.: Diagnostische Aussagekraft der Thermografie bei Lahmheiten des Pferdes. *Tierärztliche Praxis* 1998, 26: 346-354.
- Wieland, M.: Gegenüberstellung thermographischer und knochenszintigraphischer Befunde beim Pferd. Dissertation, Universität Zürich, 1992.

## 8 Danksagung

Ich bedanke mich bei Dr. Esther Bürge für ihre sehr wertvolle, kompetente Beratung und ihre Unterstützung, die sie diesem Projekt zukommen liess, indem sie uns Tiere aus der Abteilung für Schweinemedizin der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich für unsere Datenerhebung zur Verfügung stellte. Ihre Diskussionsbeiträge und Anmerkungen zum Manuskript trugen entscheidend zum Gelingen des Projekts bei. Danken möchte ich auch meinem Betreuer Dr. Pete Ossent sowie meinem Korreferenten Prof. Dr. Hans Geyer.

Ebenfalls meinen Eltern Milli und Gieri Gabriel-Bertogg möchte ich an dieser Stelle danken. Ihre Unterstützung ermöglichte mir das Tierarztstudium und somit auch diese Dissertation. Und nicht zuletzt danke ich meiner Partnerin Nicole Weber für ihre liebevolle Begleitung. Mehr als einmal erwiesen sich ihre Ratschläge hinsichtlich dieser Arbeit als wegweisend.

Cordial engraziament a Vus tuts per Vies susteniment,

Flurin Gabriel

## 9 Lebenslauf

Flurin Gabriel, geboren am 27. Februar 1963, von Waltensburg (GR)

1970 - 1979	Primar- und Sekundarschule in Waltensburg (GR)
1979 - 1982	Lehre als Radio-TV-Elektriker in Ilanz (GR)
1982 - 1984	Div. Arbeitsverhältnisse
1984 - 1987	Ausbildung als Psychiatrie-Pfleger in der Schweiz. Epilepsie-Klinik in Zürich
1988 - 1996	Div. Arbeitsverhältnisse
1992 - 1996	AKAD/Maturitätsschule für Erwachsene in Aarau, Typus D
1996 - 2004	Studium der Veterinärmedizin an der Universität Zürich
August 2004	Staatsexamen der Veterinärmedizin an der Universität Zürich
2004 - 2008	Dissertation am Institut für Veterinärpathologie der Vetsuisse- Fakultät Universität Zürich unter der Leitung von Prof. Dr. med. vet. A. Pospischil
10/2007 - 09/2008	Assistent in der Tierarztpraxis Dr. med. vet. Men Bischoff, Sent (GR)
09/2008	Assistent in der Tierarztpraxis Dammbühl AG, Wängi (TG)